УДК 620.9(476)

Е.Е. НИКИТИН, канд. техн. наук, (Международный центр энергоэффективных технологий, Киев)

РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сформулирована задача энергетического менеджмента на основе общих понятий теории управления: цель и критерии управления, управляющие воздействия, ограничения на процесс управления, неуправляемые воздействия на объект и средства управления. Предложена структура программно-методических средств систем энергоменеджмента, которая включает четыре подсистемы: контроля и нормирования энергопотребления, диагностики причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем, оптимизации режимов эксплуатации, технического и ремонтного обслуживания, а также планирования и мониторинга инвестиционных проектов.

Система энергетического менеджмента (СЭМ) промышленного предприятия – это комплекс организационных мероприятий, технических средств и программно-методического обеспечения, которые в совокупности позволяют таким образом управлять производственным процессом, чтобы потреблялось только минимально необходимое количество топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) для производства определенного количества продукции или услуг.

Создание и совершенствование СЭМ на энергоемких промышленных предприятиях является базовым практическим инструментом снижения энергоемкости выпускаемой продукции.

Приоритетность работ связанных с созданием и совершенствованием СЭМ обусловлена следующими соображениями:

– снижение энергоемкости достигается при малых капиталовложениях, малых сроках окупаемости капитальных затрат и небольших сроках реализации;

– возможна поэтапная реализация СЭМ, что позволяет осуществлять это мероприятие даже в условиях дефицита оборотных средств предприятия;

– СЭМ – является базой для последующих крупных энергосберегающих и экологических инвестиционных проектов, поскольку создает информационную основу и мотивацию для их внедрения.

Интерес к внедрению СЭМ со стороны потребителей ТЭР будет непрерывно возрастать в связи с удорожанием ТЭР, ужесточением требований по их своевременной оплате и появлением реальных собственников предприятий и зданий, которые заинтересованы в снижении затрат на приобретение ТЭР и повышении конкурентоспособности производимых товаров и услуг. Однако для представителей отечественных промышленных предприятий такое понятие как "Система энергетического менеджмента" является достаточно новым и в значительной степени функционально не определенным.

Состояние промышленных предприятий с позиций внедрения СЭМ можно оценить по трем показателями:

– состояние и объем приборного парка для измерения энергопотоков;

– уровень компьютеризации процессов сбора, передачи, обработки и хранения информации об энергопотреблении;

– наличие организационной структуры, обеспечивающей учет, контроль и анализ потребления ТЭР.

По состоянию и объему приборного парка для измерения энергопотоков можно выделить две группы предприятий: оснащенных устаревшими показывающими и самопишущими приборами контроля потребления энергоресурсов и оснащенных современными электронными приборами учета потребления ТЭР.

По уровню компьютеризации процессов сбора, передачи, обработки и хранения информации об энергопотреблении можно выделить три группы: ручная обработка информации (ведение журнала потребления энергоресурсов на бумажном носителе); обработка информации и подготовка документов на ПЭВМ (ручной ввод данных); обработка информации и подготовка документов на ПЭВМ (автоматический ввод данных).

По уровню организационной структуры, обеспечивающей учет, контроль и анализ потребления ТЭР можно выделить три группы: специальное подразделение по учету потребления ТЭР отсутствует; в отделе главного энергетика имеется группа учета потребления ТЭР; помимо группы учета потребления ТЭР имеется служба энергетического менеджмента, выполняющая систематический анализ потребления ТЭР и разработку рекомендаций по энергосбережению

Все промышленные предприятия в той или иной мере оснащены приборами коммерческого учета и технологического контроля, включая приборы измерения расхода природного газа, воды, пара и электроэнергии ,показания которых могут использоваться в качестве информационной базы для СЭМ. Однако, как правило, в эксплуатации находится устаревший приборный

парк, а количество установленных приборов позволяет оценить только 20-30% энергопотоков предприятия. Многие приборы не работают или не прошли метрологическую аттестацию. Поэтому многие, даже крупные внутренние энергопотоки предприятия неизвестны или оцениваются условно-расчетным методом.

На предприятиях ведется ручная обработка диаграммных лент и журнала потребления энергоресурсов на бумажном носителе. Формы ведения журналов не являются результатом анализа энергопотоков предприятия, а возникают, так сказать "исторически", в результате постепенного добавления новых столбцов в старые журналы.

На крупных предприятиях имеются, как правило, группы учета потребления ТЭР подчиненные главному энергетику предприятия, которые занимаются главным образом информационным обеспечением вопросов оплаты за энергоносители. Систематический и глубокий анализ данных по энергопотреблению этими группами не выполняется.

На отдельных предприятиях внедряются интегрированные системы контроля и учета потребления энергоресурсов на базе современных электронных приборов учета, систем телекоммуникации и персональных компьютеров. Однако даже в этих современных системах реализуются в основном только задачи отображения, накопления и документирования информации.

Оценивая состояние работ по созданию и внедрению СЭМ можно отметить, что в странах Западной Европы и Америки этой проблеме уделяется большое внимание [1–10].

В Украине и странах СНГ также ведутся научно-методические работы и подготовка специалистов в этом направлении [11–13]. При этом следует отметить, что вопросы управления электропотреблением на промышленных предприятиях [11] разработаны в большей степени, чем вопросы управления топливо- и теплопотреблением на этих объектах.

Одной из основных задач, которые решаются в рамках создания СЭМ и в методическом плане достаточно подробно разработана [12] является задача контроля и нормализации энергопотребления (КиН). Вместе с тем необходимо отметить, что для достижения конечного энергосберегающего эффекта на энергопотребляющем объекте эта задача должна быть дополнена другими важными задачами.

Важным логическим звеном между решением задачи КиН и принятием решений об энергосберегающих мероприятиях является диагностика причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем.

Известно также, что повышение экономичности работы оборудования может быть достигнуто за счет оптимизации режимов его работы, технического и ремонтного обслуживания.

По этим направлениям выполнен целый ряд работ, например [14–16], результаты которых должны войти органической составной частью в идеологию создания СЭМ.

В целом, можно отметить, что среди специалистов, работающих в сфере энергосбережения, пока что не выработаны апробированные общепринятые научно-методические подходы к проектированию СЭМ.

Таким образом, создание и совершенствование СЭМ является одной из важнейших практических и научно-методических задач в общей проблеме повышения эффективности использования ТЭР на промышленных предприятиях.

Целью настоящей работы является выработка концепции развития СЭМ на основе синтеза известных направлений повышения энергоэффективности энергоемкого оборудования промышленных предприятий с использованием основных понятий общей теории управления. При этом логически увязаны в рамках единой функционально завершенной организационно-технической системы научно-методические подходы в области контроля, учета и нормирования потребления ТЭР, технической диагностики правильности функционирования, оптимизации режимов работы, технического и ремонтного обслуживания оборудования, управления инвестиционными проектами, а также управления персоналом.

СЭМ как система управления

Для того чтобы сформулировать задачу управления, необходимо определить следующие ее компоненты: объект управления; цель и критерии управления; управляющие воздействия; ограничения на процесс управления; неуправляемые воздействия на объект; средства управления.

Применительно к рассматриваемой проблеме эти составляющие процесса управления приобретают содержание, приведенное на рис. 1.

Объектом управления является промышленное предприятие в целом, отдельные его подразделения, топливо – и энергопотребляющие (ТиЭП) агрегаты и системы, а также персонал предприятия, связанный с вопросами эффективности использования ТЭР.

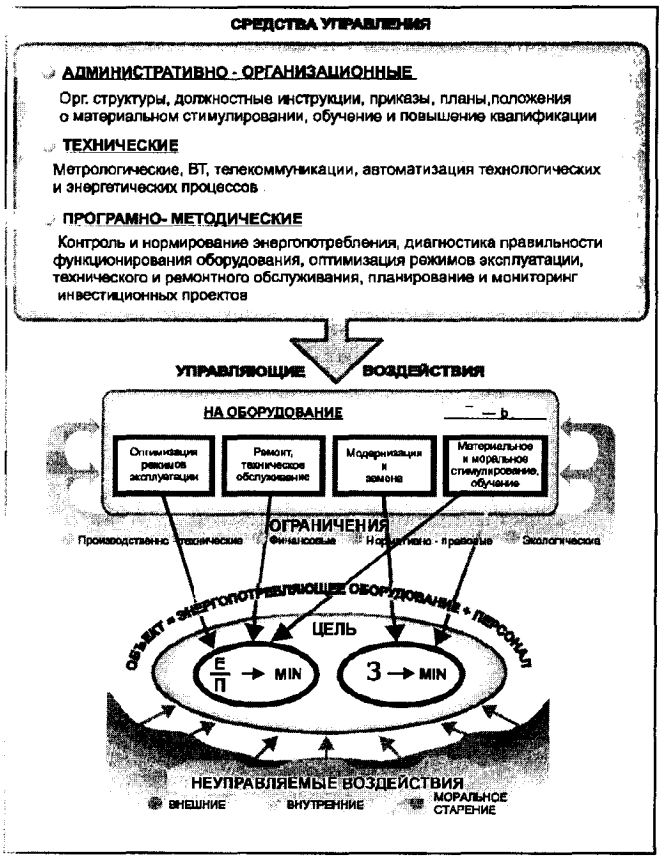

Рис. 1

Целью управления является миниминизация удельного потребления ТЭР в расчете на единицу продукции (услуг).

$$P=E/П \rightarrow \min, \qquad (1)$$

где $П$ – объем производства (услуг) за отчетный период в натуральных показателях; E – потребление ТЭР за отчетный период в т у.т.

Величину (1) удобно использовать в качестве оперативного критерия энергоэффективности на относительно коротких промежутках времени (сутки, смена, неделя, месяц). Недостатком этого критерия является то, что он не учитывает величину затрат на реализацию энергосберегающих мероприятий. Поэтому наряду с критерием (1) для оценки эффективности процесса управления энергопотреблением предприятия на длительных промежутках времени в течении которых вкладываются определенные финансовые средства целесообразно использовать величину суммарных затрат которые включают в себя, как капитальные затраты на энергосберегающие мероприятия, так и эксплуатационные затраты связанные с оплатой за энергоносители:

$$З \rightarrow \min. \qquad (2)$$

Подробнее критерий (2) рассмотрен ниже.

Управляющие воздействия включают в себя воздействия непосредственно на оборудование и воздействия на технический персонал. Управляющие воздействия на оборудование включают в себя: оптимизацию режимов эксплуатации, техническое обслуживание, ремонтное обслуживание, модернизацию или полную замену оборудования.

На технический персонал можно воздействовать путем материального и морального стимулирования, а также путем повышения его квалификации.

Ограничения на процесс управления. Любой процесс управления, в том числе рассматриваемый в настоящей работе процесс управления потреблением ТЭР на промышленном предприятии связан с определенными ограничениями. В общем случае необходимо принимать во внимание ограничения планово-производственного, финансового, экологического, технического и нормативно-правового характера.

Неуправляемые воздействия на объект следует рассматривать в качестве причины снижения эффективности использования ТЭР в рассматриваемом объекте управления. Эти неуправляемые воздействия не могут быть полностью исключены, но должны быть скомпенсированы соответствующими управляющими воздействиями. Собственно говоря, необходимость внедрения СЭМ и обусловлена наличием неуправляемых воздействий.

Все неуправляемые воздействия можно разделить на три группы: внешние, внутренние и моральное старение оборудования. Примерами внешних воздействий являются изменение температуры окружающего воздуха, качества поступающего топлива и сырья. Примерами внутренних воздействий являются нарушения теплоизоляции, газоплотности, наружная и внутренняя загрязненность поверхностей нагрева, разрегулировка систем автоматики, и.т.д. Моральное старение связано с появлением новых образцов техники и ухудшением относительных технико-экономических показателей ранее установленного оборудования.

Средства управления включают в себя административно-организационные, технические и программно-методические.

Административно-организационные средства включают в себя организационные схемы, приказы, должностные инструкции, положения о материальном стимулировании работников и подразделений, а также мероприятия по повышению квалификации.

Технические средства включают в себя: средства измерения; средства вычислительной техники; средства передачи информации; средства автоматизации энергетических и технологических процессов.

Необходимо отметить, что уровень развития технических средств, существенно опережает уровень развития программно-методических средств СЭМ, поэтому в настоящей работе уделяется основное внимание развитию именно программно-методических средств СЭМ.

Программно-методические средства СЭМ

Процесс функционирования СЭМ связан со сбором, накоплением и обработкой больших массивов данных. Например, по узлу учета потребления электрической энергии при ежесуточном снятии показаний за год накапливается 360 показаний, а по узлу потребления тепловой энергии в виде горячей воды – 1080 значений (360 значений среднесуточных расходов и 720 значений среднесуточных температур в подающем и обратном трубопроводе). Предполагая, что для промышленного предприятия средних размеров необходимо не менее 50 узлов учета потребления ТЭР и других точек измерения, годовой массив исходной информации можно оценить величиной 18-54 тыс. значений. Достаточно трудоемкими являются задачи расчета норм потребления ТЭР и статистической обработки данных. Для решения большинства задач необходимо располагать большим количеством нормативно-справочной информации в виде графиков и таблиц. Поэтому эффективное функционирование СЭМ невозможно без использования компьютерной обработки данных. Следовательно, важнейшей составной частью СЭМ, наряду с методами обработки данных являются компьютерные программы, реализующие эти методы, а также базы данных содержащие необходимую исходную информацию. Все эти компоненты в настоящей работе рассматриваются как единое целое и называются – программно-методические средства СЭМ.

Минимально необходимыми техническими средствами для использования рассматриваемых программно-методических средств являются средства измерения потоков ТЭР и ПЭВМ. Трудоемкость работ существенно снижается, а достоверность информации увеличивается при автоматизации ввода данных в ПЭВМ. Однако, учитывая высокую стоимость необходимых технических средств и реальную перспективу поэтапного ввода их в эксплуатацию, разрабатываемое программно-методическое обеспечение должно предусматривать как ручной, так и автоматический ввод данных в ПЭВМ.

В соответствии с рассмотренной выше общей концепцией СЭМ, программно-методические средства можно представить в виде совокупности четырех подсистем: контроля и нормализации энергопотребления (КиН), диагностики причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем; оптимизации режима эксплуатации, технического и ремонтного обслуживания, планирования и мониторинга инвестиционных проектов.

Подсистема контроля и нормализации энергопотребления (КиН) является базовой подсистемой, которая выполняет важные самостоятельные функции, а также обеспечивает исходными данными другие подсистемы СЭМ.

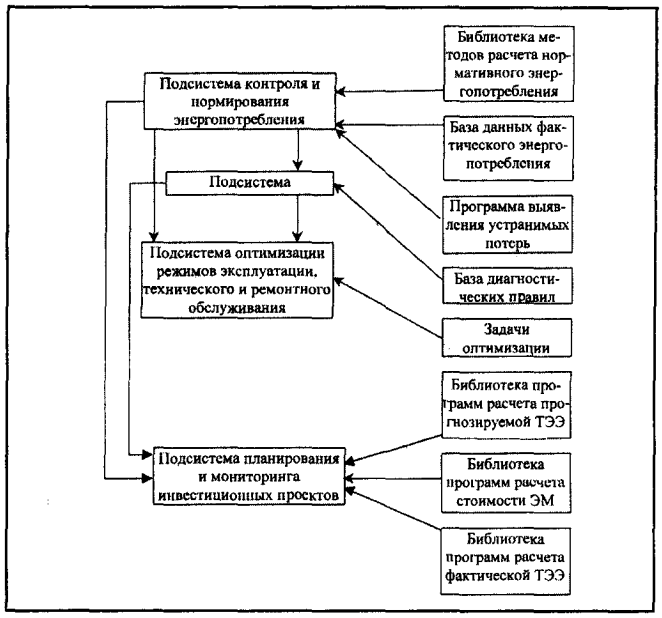

Рис. 2

Подсистема КиН функционально связана с системой оперативного контроля технологических параметров (СОКТП), которая внедряется на отдельных предприятиях с целью контроля ТП на оперативных интервалах времени (секунды, минуты, часы).

В рамках подсистемы КиН рассматриваются ТП на суточных и более длительных интервалах времени. При наличии на предприятии СОКТП база данных этой системы может быть использована для формирования базы данных подсистемы КиН.

КиН должна выполнять следующие функции:

– формирование и хранение базы данных о фактических абсолютных показателях энергопотребления различных объектов и усредненных значениях основных технологических параметров на суточных интервалах времени в течении длительного срока (не менее года);

– предварительный контроль достоверности суточных данных о фактических абсолютных по-

казателях энергопотребления;

– выполнение функций виртуального счетчика: вычисление суточного потребления ТЭР по показаниям приборов контроля технологических параметров;

– вычисление фактических абсолютных показателей энергопотребления на любых заданных интервалах времени (сутки, неделя, 10 дней, месяц, квартал, год, и.т.д.) в натуральных, системных и стоимостных показателях. В качестве натурального показателя энергопотребления в зависимости от вида ТЭР может использоваться Вт.ч, Гдж, Гкал, нм^3 (природного газа), тонна пара), тонна (жидкого или твердого топлива), в качестве единого системного показателя – тонна условного топлива (т у.т), в качестве стоимостного показателя – гривня (грн.).

– вычисление фактических удельных показателей энергопотребления на различных интервалах времени с учетом значений определяющих параметров для предприятия в целом, структурного подразделения, крупного ТиЭП агрегата или отдельного вида продукции. Определяющим называется параметр от которого зависит величина потребления ТЭР, например количество произведенной продукции и(или) количество градусо-дней. Фактические удельные показатели энергопотребления представляют собой отношение количества потребленных ТЭР выраженной в т у.т к величине одного или нескольких определяющих параметров выраженных в натуральных или стоимостных показателях, например: г.у.т/тонн (продукции), т у.т/ грн., т у.т/тонн продукции) х градусо-дни;

– вычисление нормативных значений показателей энергопотребления и сравнение их с фактическими показателями;

– прогнозирование энергопотребления в зависимости от предполагаемых значений определяющих параметров (объемов производства, температуры наружного воздуха, и.т.д.) на основании статистической обработки информации предшествующих периодов;

– составление энергобалансов для различных объектов и интервалов времени с выделением полезно использованных ТЭР и их потерь, вычисление коэффициентов эффективности использования ТЭР, включая к.п.д и к.и.т отдельных ТиЭП агрегатов;

– документирование информации в удобной для пользователя форме.

Основным элементом системы КиН является база данных о фактических суточных показателях энергопотребления, которая формируется на основании показаний приборов учета потребления ТЭР и приборов технологического контроля.

Вторым важным элементом подсистемы КиН является библиотека методов расчета нормативного энергопотребления различных объектов. Разнообразие объектов потребляющих ТЭР диктует необходимость разработки большого числа методик. Для некоторых объектов могут быть использованы типовые методики, в частности [17, 18], однако для большинства промышленных предприятий необходима разработка специальных методик, а также соответствующего программного обеспечения.

Третьим важным элементом подсистемы КиН является программа выявления устранимых потерь. Сущность метода выявления устранимых потерь (рис. 3) заключаются в следующем [19]. На основании фактических ретроспективных суточных данных об энергопотреблении предприятия, его структурного подразделения или отдельного ТиЭП агрегата накопленных за определенный период эксплуатации, например месяц или год, строится график корреляционной зависимости (1) между значением определяющего параметра (например, суточной выработки продукции) и соответствующим значением энергопотребления. Точки, лежащие на линии корреляции или в непосредственной близости от нее (2) соответствуют "нормальному", среднестатистическому энергопотреблению. Точки (3) лежащие выше линии корреляции соответствуют "сверхнормативному" энергопотреблению, при этом требуется диагностика причин сверхнормативного потребления ТЭР.

Этот вопрос более детально рассматривается ниже. Точки (4) лежащие ниже линии корреляции

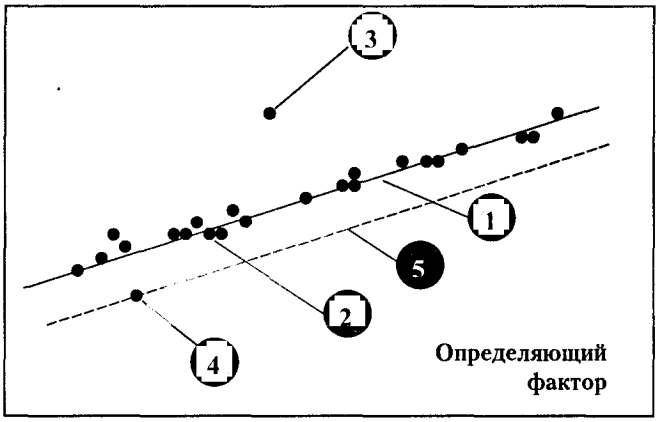

Рис. 3

соответствуют экономному энергопотреблению, при этом желательно изучение положительного опыта с целью его дальнейшего использования. Точка (4) задает положение линии (5), которую целесообразно рассматривать в качестве целевой функции, которая задает величину экономного

энергопотребления при различных значениях определяющего параметра. Рассмотренный метод может применяется не только для текущего контроля, но и для прогнозирования энергопотребления в зависимости от планируемой величины определяющего параметра. Дальнейшее развитие этого метода связано с разработкой научо-обоснованных рекомендаций по выбору характера корреляционной линии (в общем случае отличной от прямой), а также количества и номенклатуры определяющих параметров (которых в общем случае может быть несколько) для конкретных энергетических и технологических агрегатов и систем.

Подсистема диагностики предназначена для выявления причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем.

Из практики известен целый ряд причин снижения эффективности использования ТЭР в различных ТиЭП агрегатах. Достаточно подробно изучены и систематизированы возможные причины снижения эффективности использования топлива в котельных установках (нарушение соотношения "топливо-воздух", присосы по газоходам, внутритрубные отложения, нарушение теплоизоляции, повышение влажности топлива, и т.д.) [16]. Некоторые из этих причин диагностируются достаточно просто, например, нарушение наружной теплоизоляции определяется на основании измерения температуры обмуровки с помощью инфракрасного термометра. Выявление других причин требует применения специальных диагностических методов и процедур, как, например, образование внутритрубных отложений в поверхностях нагрева котлов. Для большинства промышленных энерготехнологических агрегатов и комплексов требуется переведение специальных работ по систематизации данных о причинах превышения фактического потребления ТЭР над нормативным уровнем и сопутствующих им диагностических признаках.

В рамках развития СЭМ может быть использован общий подход к решению рассматриваемой задачи диагностики, основанный на принципах построения экспертных систем [20], которые широко применяются в системах поддержки принятия управляющих решений при эксплуатации оборудования мощных энергоблоков [21].

Подсистема диагностики использует данные о фактических значениях контролируемых технологических параметров и включает в себя базу диагностических правил и интерпретатор технологических ситуаций.

Правила имеют структуру типа:

Если {Признак 1 и (или) Признак 2, ..., и (или) Признак N} **то** Причина X

Примеры возможных причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем приводились выше. В качестве признаков, сопутствующих этим причинам могут выступать соотношения типа:

(Фактический параметр I) **больше(меньше)** (Фактического параметра Y)

(Фактический параметр I) **больше(меньше)** (Нормативного значения I).

База правил открыта для ввода новых правил. Она должна непрерывно пополняется энергетическим менеджером в процессе накопления опыта эксплуатации СЭМ.

Работа интерпретатора технологических ситуаций заключается в сопоставлении фактических значений диагностических признаков со значением признаков указанных в правилах и выбора тех правил, для которых обозначенные признаки совпадают с фактическими.

Подсистема оптимизации режимов эксплуатации, технического и ремонтного обслуживания представляет собой совокупность отдельных задач оптимального управления для конкретных видов ТиЭП агрегатов, технологических комплексов и зданий. К числу типичных относятся следующие задачи, которые должны решаться в рамках рассматриваемой подсистемы:

– регулирование подачи топлива в котельную установку в зависимости от величины тепловой нагрузки у потребителя;

– оптимизация распределение нагрузки между паровыми котлами, работающими на общую магистраль, с учетом индивидуальной зависимости к.п.д. от нагрузки для каждого котла;

– оптимизация соотношения "топливо-воздух" в котельных установках по критерию минимизации суммы потерь теплоты с отходящими газами и от химической неполноты сгорания топлива;

– оптимизация межпромывочного периода котлов и теплообменных аппаратов с учетом стоимости промывки с одной стороны и перерасхода ТЭР из-за загрязненности теплообменных поверхностей с другой стороны;

– оптимизация межремонтного периода труб поверхностей нагрева котлов с учетом стоимости ремонта с одной стороны и ущерба от вероятной аварийной остановки котла с другой стороны;

– автоматизация включения и отключения компрессорных установок в зависимости от величины потребления сжатого воздуха;

– автоматическое регулирование тепловой нагрузки здания в зависимости от температуры

наружного воздуха и заданного графика температуры внутри здания, который определяется наличием или отсутствием людей в здании;

– регулирование мощности электродвигателей приводов в зависимости от уровня механической нагрузки.

На предприятиях с разными технологическими процессами может быть сформулировано также целый ряд других специфических задач оптимального управления режимами работы, техническим и ремонтным обслуживанием. Некоторые из этих задач могут реализовываться автоматически без участия человека-оператора с помощью современных технических средств автоматического управления. Другая часть задач реализуется с участием человека-оператора, при этом программно-методические средства СЭМ выступает в роли "советчика".

Подсистема планирования и мониторинга инвестиционных проектов предназначена для выполнения следующих функций: информационно-аналитической поддержки принятия решения по выбору наиболее эффективного энергосберегающего проекта и оценки фактической технико-экономической эффективности реализуемых энергосберегающих проектов.

Для оценки технико-экономической эффективности энергосберегающего проекта рассмотрим график изменения во времени суммарных затрат, связанных с платежами за энергоносители и капитальными затратами на реализацию проекта (рис. 2). По оси абсцисс откладывается время τ, при этом точкой отсчета является момент начала реализации проекта, а по оси ординат суммарные затраты З связанные с платежами за энергоносители и капитальными затратами на реализацию проекта.

График 0 описывает вариант, когда не внедряется ни один проект по энергосбережению, а график i описывает i-ый проект. В общем случае может быть рассмотрено n проектов (1, 2, ... i, ...j, ... n) и соответствующее количество графиков, но для изложения сути подхода достаточно рассмотреть два из них (i и j).

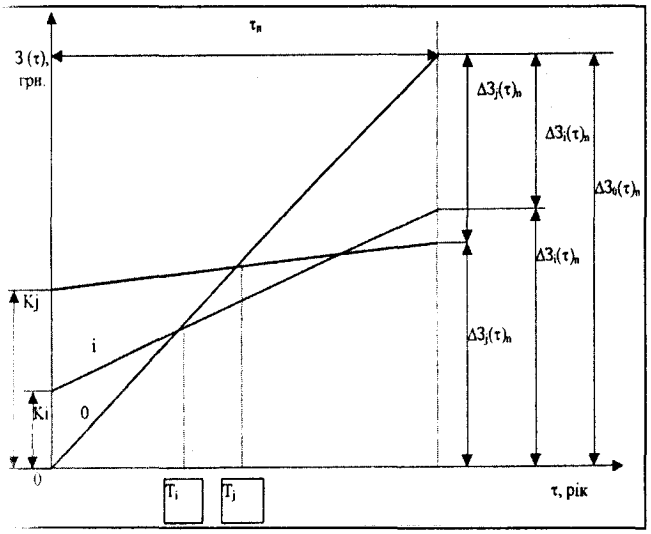

Рис. 4. График изменения суммарных затрат

Вариант 0 не связан с дополнительными капитальными затратами ($К_0 = 0$), а внедрение мероприятия по энергосбережению i требует капитальных затрат $К_i$, таким образом, в начальный период затраты по варианту 0 составляют:

$$З_0(0) = 0,$$

а по проекту i:

$$З_i(0) = К_i.$$

Пусть для варианта 0 текущие годовые затраты на оплату энергии равняются $Е_0$, а по проекту i соответственно $Е_i$. Кроме того, реализация проекта i может быть связана с дополнительными годовыми эксплуатационными затратами $Э_i$.

Очевидно, что внедрение проекта по энергосбережению имеет смысл только в том случае, если

$$E_i + Э_i < E_0.$$

Суммарные затраты через τ лет по варианту 0 составляют величину

$$З_0(\tau) = E_0\tau, \qquad (3)$$

а по проекту i

$$З_i(\tau) = K_i + (E_i + Э_i)\tau. \qquad (4)$$

Для оценки технико-экономической эффективности проекта i можно использовать два критерия.

Первый критерий – минимизация срока окупаемости затрат.

$$T_i \to min \qquad (5)$$

Срок окупаемости затрат имеет наглядную геометрическую интерпретацию (рис. 2). Это абсцисса точки пересечения графиков варианта 0 и проекта i, которая определяется по уравнению:

$$З_0(T_i) = З_i(T_i) \qquad (6)$$

Подставляя (3) и (4) в (6) получаем:

$$З_0 T_i = K_i + (E_i + Э_i) T_i,$$

Отсюда легко получить выражение для T_i

$$T_i = \frac{K_i}{E_0 - E_i - Э_i} \qquad (7)$$

Второй критерий – минимизация суммарных затрат по истечении определенного времени после внедрения проекта τ_n (расчетное время проекта):

$$З_i(\tau_n) = K_i + (E_i + Э_i)\tau_n \to min \qquad (8)$$

Из приведенных графиков видно, что суммарные затраты для варианта 0 больше суммарных

затрат по проекту i, а экономия в результате выполнения проекта составляет величину

$$\Delta Зi = З_0(\tau_n) - З_i(\tau_n) = E_0\tau_n - K_i - (E_i + Э_i)\tau_n = $$
$$= (E_0 - E_i - Э_i)\tau_n - K_i \quad (9)$$

Для оценки экономической эффективности малозатратных быстроокупаемых мероприятий величину τ_n следует принимать равной 3-5 лет, при этом очевидно, что τ_n должна быть большей чем T_i.

На практике часто приходится принимать решения не только о целесообразности внедрения конкретного проекта по энергосбережению (сравнение с вариантом 0), но и сравнивать несколько, в частности два проекта.(i и j, рис. 4).

Как видно из приведенных графиков, срок окупаемости проекта i меньше, чем проекта j.

$$T_i < T_j, \quad (10)$$

то есть, по первому критерию проект i экономически более целесообразный, чем проект j.

Однако, суммарные затраты по истечении времени проекта τ_n для проекта i больше, чем для проекта j:

$$З_i(\tau_n) > З_j(\tau_n) \quad (11),$$

то есть, по второму критерию проект i экономически менее целесообразный, чем проект j.

Выбор того или иного проекта по критериям (7) или (8) осуществляется на основе комплексного анализа производственно-технических и финансово-экономических факторов, например, наличия оборотных средств на предприятии, возможности и условий кредитования, перспективы модернизации или замены энергетического и технологического оборудования, положения предприятия на рынке и т.п.

Для оценки рассмотренных выше критериев необходимо располагать следующими показателями: $\Delta E = E_0 - E_i$ годовая экономия затрат на энергоносители, грн./год; K_i – капитальные затраты на внедрение проекта, грн.; $Э_i$ – дополнительные годовые эксплуатационные затраты, связанные с внедрением проекта по энергосбережению, грн./год.

Таким образом, для реализации вышеуказанных функций подсистема планирования и мониторинга инвестиционных проектов должна содержать библиотеку программ расчета прогнозируемой, фактической технико-экономической эффективности и стоимости энергосберегающих мероприятий.

К числу типичных энергосберегающих мероприятий, которые должны содержаться в библиотеке программ относятся следующие:

– установка коммерческих и технологических приборов и систем учета потребления ТЭР;

– улучшение теплоизоляции котлов, технологических печей, трубопроводов пара и горячей воды, а также зданий и сооружений;

– использование теплоты отходящих газов за паровыми, водогрейными котлами и теплотехнологическими печами;

– использование сбросной тепловой энергии горячей воды из контуров охлаждения технологического оборудования;

– повышение эффективности использования пара и конденсата в промышленных системах пароснабжения ;

– использование теплоты сбросного вентиляционного воздуха;

– замещение традиционных ТЭР местными, горючими отходами (древесина, лузга, отработка моторного масла, горючие газы, и.т.д.);

– использование солнечной энергии для производства горячей воды;

– модернизация котельных установок путем замены горелок и установки систем автоматизации соотношения "топливо-воздух";

– замена физически и морально устаревших котельных установок на современные высокоэффективные автоматизированные агрегаты;

– совместная выработка тепловой и электрической энергии на базе промышленно-отопительных котельных;

– погодное и программное регулирование теплопотребления зданий и сооружений;

– автоматизация режимов работы компрессорных установок и систем подачи сжатого воздуха;

– установка приборов регулирования мощности электроприводов;

– переход на энергосберегающее освещение;

Выбор энергосберегающих мероприятий подлежащих рассмотрению определяется составом ТиЭП агрегатов и их состоянием на конкретном промышленном предприятии в процессе проведения энергоаудита.

Заключение

Создание и совершенствование СЭМ на промышленных предприятиях является базовым малозатратным, быстроокупаемым энергосберегающим мероприятием, внедрение которого создает информационную основу и побудительные мотивы для внедрения последующих энергосберегающих проектов. В связи с удорожанием ТЭР, ужесточением требований по их своевременной оплате, появлением реальных собственников предприятий и ужесточением экологических требований актуальность проблемы внедрения СЭМ будет непрерывно возрастать.

В настоящее время проблеме создания и внедрения СЭМ на промышленных предприятиях Украины уделяется недостаточно внимания. Парк измерительных приборов большинства промышленных предприятий физически и морально устарел. Имеющееся в наличии количество измерительных приборов не позволяет контролировать даже основные внутренние энергопотоки предприятия. Учет потребления энергоносителей осуществляется, как правило, на бумажных носителей. Отсутствует систематический анализ имеющихся данных.

Первоочередным этапом создания СЭМ является установка приборов коммерческого и технологического учета потребления энергоносителей и решение задачи контроля и нормализации энергопотребления. Однако, для достижения экономии ТЭР, необходимо расширение функций СЭМ для организации управляющих воздействий на топливо и -энергопотребляющее оборудование и обслуживающий персонал предприятия.

Сформулирована концепция создания СЭМ на основе таких общих понятий теории управления как цель и критерии управления, управляющие воздействия, ограничения на процесс управления, неуправляемые воздействия на объект и средства управления. Подчеркивается важность работ по созданию программно-методических средств СЭМ, поскольку возможности имеющихся на рынке технических средств измерения, передачи и обработки данных значительно опережают имеющиеся в наличии программно-методические разработки.

Предложена структура программно-методических средств СЭМ, которая включает четыре подсистемы: контроля и нормализации энергопотребления, диагностики причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем, оптимизации режимов эксплуатации, технического и ремонтного обслуживания, а также планирования и мониторинга инвестиционных проектов. Рассмотрены пути создания вышеперечисленных подсистем.

Подсистема контроля и нормализации энергопотребления должна включать в себя программно-методические средства оперативного определения нормализованных значений энергопотребления.

В качестве одного из методов оперативного определения нормализованных значений энергопотребления предлагается использовать статистический метод, основанный на построении корреляционной зависимости уровня энергопотребления от величины определяющего параметра.

Предложена структура подсистемы диагностики причин превышения фактического энергопотребления над нормативным уровнем, которая включает в себя базу диагностических правил и интерпретатор технологических ситуаций. База диагностических правил открыта и постоянно пополняется энергетическим менеджером по мере накопления опыта эксплуатации СЭМ.

Подсистема оптимизации режимов эксплуатации, технического и ремонтного обслуживания включает в себя набор задач для конкретных энергопотребляющих систем и агрегатов. Часть задач реализуется с помощью локальных систем автоматического регулирования, другая часть задач реализуется с помощью человека-оператора, при этом СЭМ выступает в роли "Советчика".

С помощью подсистемы планирования и мониторинга проектов по энергосбережению обеспечивается расчет прогнозируемых и фактических суммарных затрат и сроков окупаемости капитальных вложений для конкретных энергосберегающих мероприятий которые планируются или уже реализуются на предприятии.

С целью дальнейшего развития научно-методической базы и практического внедрения СЭМ на промышленных предприятиях Украины необходима активизация совместных усилий специалистов и организаций, занимающихся данной проблемой и руководителей предприятий-потребителей ТЭР.

1. Energy management handbook / by Wane C. Turner. 4 th ed., 2001 by The Fairmout Press, Inc, 758 p, ISBN 0-88173-337-7.

2. Strategic Planning for Energy and the Environment Vol.20 ,No.1 2000,ISSN:1048-5236 "Wailter P.Smith,P.E., Optimizing Energy, Environmental,and Water Conservation Processes" p.44-56.

3. Strategic Planning for Energy and the Environment Vol.19 ,No.3 2000,ISSN:1048-5236 . Doug Tripp,PEng., The human Side of Energy Management" p. 6-9.

4. Strategic Planning for Energy and the Environment Vol.19 ,No.3 2000,ISSN:1048-5236 . Dr Ing.Prof.Ricardo Rivero and R.Del Rio, An Advanced Technological Strategy for Energy and the Environment" p. 9-25.

5. Strategic Planning for Energy and the Environment Vol.19 ,No.3 2000,ISSN:1048-5236 ."Louis Braqued,21st Century Energy Management: The Strategic Energy Plan (SEP) p.57-72.

6. Strategic Planning for Energy and the Environment Vol.21 ,No.1 2001,ISSN:1048-5236 "The Energy Management Process, Thomas C.Mort,CEM" p.7-12.

7. Energy Engineering Vol.97,No.6 2000 ISSN:0199-8595 "Nevena Irodanova, Van V.Venkatesan, Michael Calogero, Steam System optimization: A Case Study" p. 43-67

8. Energy Engineering Vol.97,No.6 2000 ISSN:0199-8595 "John Compher, P.E., Bobby Morcom,P.E., Stream System Improvements at a Manufacturing Plant" p.67-76

9. Energy Engineering Vol.98,No.2 2001 ISSN:0199-8595 "Robert L.Renz, Steam Management -The 3M Approach" p.7-16

10. Energy Engineering Vol.98,No.2 2001 ISSN:0199-8595 Dr.Douglas L. Norland and Laura Lind, Corporate Energy Management : A Survey of Large Manufacturing Companies" p.53-73

11. Енергетичний менеджмент: Навчальний посібник/ Праховник А.В., Розен В.П., Разумовский О.В., та інші.- К.: 1999.- 184с. Ил.(Енергозбереження; Кн.3). ISBN 966-622-027-х

12. Энергетический менеджмент / А.В. Праховник, А.И. Соловей, В.В. Прокопенко и др.- К.: IEE НТУУ "КПИ", 2001.- 472 с.: ил.ISBN 966-622-027-х.

13. Поспелова Т.Г., Основы энергосбережения.- Мн.:- УП " Технопринт", 2000.- 353 с. – ISBN 9586582-94-6

14. Технические средства диагностирования: Справочник/В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; Под общ. ред. В.В. Клюева.- М.: Машиностроение, 1989.- 672 с.

15. Ф. Шински. Управление процессами по критерию экономии энергии. Москва, "Мир", 1981, 387с.

16. Волковыский Е.Г., Шустер А.Г. Экономия топлива в котельных установках. – М.: Энергия, 1973.

17. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організації бюджетної сфери України. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17 бе5резня 2000р.за № 175/4396, 102с., Київ 2000 г.

18. Міжгалузеві норми витрат палива для опалювальних котлів, які експлуатуються в Україні. Затверджено Наказом Державного комітету України з енергозбереження від 7.05.01 № 46, 81 с, Київ,2001

19. Waste avoidance methods. Best practice programme. Fuel efficiency booklet № 13, 23 p. – 1995.

20. Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ.- М.: Наука, 1987. – 288 с.

21. Башлыков А.А. Проектирование систем принятия решений в энергетике.- М.: Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.